

BUILDING INFORMATION MODELING COMO FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA EM OBRAS DE REABILITAÇÃO – UM CASO DE ESTUDO

José Clemente^{1*}, Nuno Cachadinha²

1: Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa
Monte da Caparica, Portugal
e-mail: jmdclemente@gmail.com, web: <http://www.fct.unl.pt>

2: Technion, Israel Inst Of Technology
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa
Monte da Caparica, Portugal
e-mail: ncachadinha@fct.unl.pt web: <http://www.fct.unl.pt>

Palavras-chave: Building Information Modeling, sistemas MEP, Modelo BIM, realidade aumentada

Resumo. *O setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) não tem acompanhado, nos últimos anos, o aumento de produtividade que se tem verificado noutros setores da Indústria, apesar de sucessivas tentativas para encontrar novas técnicas que permitam diminuir os custos de projeto, aumentar a produtividade e qualidade, e reduzir o tempo de entrega. Uma das causas importantes para este fraco desempenho é a deficiente ou inexistente transmissão de informação entre todos os envolvidos num projeto de construção, em grande parte decorrente da dificuldade em visualizar o processo. A utilização de modelos 3D é crucial para alterar este paradigma, já que permite otimizar a visualização e detalhe do processo e dá suporte quer ao planeamento quer à coordenação de atividades. Além disso, está disponível para todos os intervenientes no processo. A visualização 3D dos projetos permite ainda acrescentar informação ao que é visível, permitindo visualizar aspetos não visíveis em obras de reabilitação e remodelação, como é o caso de instalações elétricas e redes de especialidades. Dá-se, deste modo, um passo na direção da realidade aumentada (augmented reality) na visualização e gestão do workflow. Este trabalho apresenta um caso de estudo de utilização de ferramentas BIM para a coordenação de trabalhos em sistemas MEP num projeto de manutenção de uma gare ferroviária. As intervenções ao nível destes sistemas em infraestruturas de elevada utilização são projetos tecnicamente desafiantes e por vezes extremamente complexos. Muitas vezes exigem o acesso a áreas complexas e invisíveis, levantando problemas de execução. Por outro lado, as infraestruturas de elevada utilização apresentam frequentemente questões de segurança sensíveis, sendo importante que estas intervenções decorram no menor tempo possível. O caso de estudo retratado neste trabalho consiste numa obra de intervenção numa área comum, numa instalação com um tráfego de utentes de cerca de 25000 por dia útil, sem interrupção do serviço normal. Este estudo inclui a implementação de ferramentas BIM para elaborar um modelo BIM da instalação o mais próximo da realidade. Posteriormente o modelo foi utilizado para controlo e coordenação dos trabalhos em obra e analisada a adequabilidade e benefícios que esta tecnologia oferece a todos os envolvidos no empreendimento. O estudo permitiu verificar desde já que a utilização de um modelo BIM permitiu reduzir em cerca de 30% as atividades sem valor acrescentado e aumentar a eficiência dos processos na ordem dos 50%.*

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção apresentou, por muito tempo, características duma atividade artesanal, na medida em que não explorava as técnicas que permitiram o progresso dos outros setores industriais e possibilitaram aumentos significativos de produtividade, eficiência e eficácia. Os últimos anos vieram confirmar o que mais se temia: a indústria da construção portuguesa tem uma doença crónica – a falta de competitividade [1]. Desde há muito tempo que se reconheciam os sintomas em muitas obras: prazos ultrapassados, orçamentos excedidos, segurança deficiente e qualidade ausente. O incumprimento dos prazos e o acréscimo do custo total das obras são dois dos problemas mais preocupantes da construção portuguesa. As consequências são severas e põem em causa não só a credibilidade dos profissionais da construção como também a imagem do nosso país neste setor [2]. Segundo o Tribunal de Contas (2009), algumas das causas dos atrasos e derrapagens nos orçamentos dos trabalhos de construção são [3]:

- projetistas apoiam-se em projetos base apresentados pelo dono de obra incompletos e sujeitos a diversas interpretações;
- erros, omissões e ambiguidades persistentes nos projetos;
- elevada dificuldade na gestão e coordenação de alguns empreiteiros;
- descoordenação dos vários intervenientes desde a fase de decisão até à construção;
- falta de disponibilidade no terreno, ordem tardia para prosseguir e tempos de espera elevados;
- falha na cadeia lógica.

É necessário que os donos de obra invistam na melhoria da qualidade dos projetos, ao nível da sua coerência e da pormenorização das soluções apresentadas, assim como no rigor das suas especificações e da definição e quantificação da natureza dos respetivos trabalhos. É neste paradigma que surge a necessidade de industrializar a construção, ou seja, que a atividade da construção se torne cada vez mais num projeto integrado orientado por metodologias de trabalho em que prevalece o planeamento e a organização [3]. A gestão da construção necessita, de um controlo eficaz do fluxo de produção, desde o programa base ao processo de construção, ou seja, um controlo permanente do estado do processo, das quantidades produzidas, da qualidade do produto, dos prazos de execução, dos custos e do desperdício.

Eastman *et al.* (2011) asseguram que o desenvolvimento de metodologias para a gestão e controlo desta atividade, podem ajudar a eliminar incumprimentos de prazos e custos excedidos, garantir um fluxo adequado de informação fiável ao longo de todo o processo, contribuindo assim para a melhoria da produtividade e qualidade na construção, tornando o setor necessariamente mais competitivo [4]. A *Building Information Modeling* (BIM) proporciona mudanças fundamentais na arquitetura, engenharia e construção (AEC). O BIM, como processo tem características que são fundamentais na eliminação de desperdícios na construção, estimula a implementação dos princípios da *Lean Construction*, oferece características que promovem maior fluxo no trabalho, um controlo do estado do processo e uma ampliação da realidade. Quando implementado adequadamente, o BIM facilita uma melhor integração dos projetos e processos de construção que resultam em edifícios com melhor qualidade a preços e durações reduzidas [5]. Com o objetivo de analisar quais os benefícios de uma implementação BIM na fase de construção, analisou-se o seguinte caso de estudo:

- Quais os benefícios de uma implementação BIM, na fase de construção, em obras de reabilitação em infraestruturas de elevada utilização, e qual o modelo de implementação?

É importante referir que de acordo com algumas entidades de referencia internacional, como por exemplo o *Construction Industry Institute* Americano revela que as atividades de valor não acrescentado na construção representam 62% do total de atividades [6], o relatório de Egan (1998) revela que 30% das atividades de construção são o trabalho repetido, que 40% dos recursos humanos e pelo menos 10% dos materiais utilizados nas atividades de construção são desperdiçados e ainda que 40% dos projetos são concluídos tarde e ultrapassam o orçamento base [7]. Torna-se

assim importante analisar quais os benefícios reais de uma implementação BIM nas empresas de construção.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. Enquadramento

Em 1974, Chuck Eastman e outros cinco autores apresentaram um artigo que descrevia os problemas dos principais meios de comunicação no processo de construção, sendo os meios desenhos, incluindo notas e especificações escritas. Alguns dos problemas encontrados foram [8]:

- Desenhos 2D são inerentemente redundantes, porque para descrever um espaço tridimensional com dois desenhos dimensionais, são necessários pelo menos dois desenhos, representando portanto uma dimensão duas vezes. Estes são redundantes ainda no aspeto em que muitos objetos são representados em vários desenhos diferentes, mas em escala diferente. Tudo isto leva a que alterações efetuadas num desenho conduz a mudanças em todo um conjunto de desenhos;
- São necessários grandes esforços para manter toda a informação atualizada. Mesmo assim existe um grande risco da informação se perder, levando a que em algum lugar esta seja obsoleta ou não consistente. Isto pode resultar em tomadas de decisão por parte de projetistas e construtores com base em informações erradas;
- Toda a informação necessária para a análise da construção é retirada manualmente dos desenhos, este é um trabalho longo e intensivo.

A sua solução para este problema foi criar um sistema de computador que pudesse armazenar, manipular e analisar informações detalhadas de projeto, construção e operação. Este sistema de computador foi denominado de *Building Discription System* (BDS) [8].

Hoje, os problemas identificados por Eastman (1974) há mais de trinta e cinco anos atrás, ainda existem, talvez em menor grau, mas ainda ocupam uma grande parte do processo de construção. Este é um processo fragmentado e a comunicação é feita essencialmente por papel, os erros nesses documentos criam muitas vezes atrasos e custos de campo imprevistos [4]. Ainda hoje as soluções para estes problemas remetem às soluções apresentadas por Chuck Eastman, independentemente da denominação atribuída, seja ela *Virtual Design and Construction* (VDC), IPD ou BIM.

2.2. Adoção de uma metodologia BIM

Uma das razões que mais se destaca da implementação BIM, reside na forma como se desenvolve todo o projeto e a automatização do processo de produção de toda a documentação. incluindo plantas, cortes, alçados, listagens de equipamentos, mapas de vãos e de acabamentos, entre outros [4]. Outra característica importante desta tecnologia é o facto de um edifício poder ser construído virtualmente antes de o ser fisicamente. Isto permite detetar cedo qualquer tipo de conflito reduzindo o número de pedidos de informação, face ao edifício em questão, e a alteração de projetos ao longo da sua construção. Com esta possibilidade poder-se-á, aumentar a qualidade da construção, permitindo um melhor apoio à tomada de decisões e melhorar a qualidade do projeto e desempenho a longo prazo dos edifícios [9]. O BIM permite uma gestão mais fácil de todos os dados necessários para a conceção, construção, uso e exploração de edifícios [10].

Como já referido, a tecnologia BIM traz enormes benefícios para a indústria da construção, contudo a sua utilização na indústria AECO/FM está agora a dar os primeiros passos, no entanto já foram realizadas melhorias significativas (em comparação com a utilização de informação baseada em papel e desenhos CAD 2D) [11]. Contudo ainda faltam dar muitos passos. A tecnologia BIM e processos associados são o cerne de como o projeto e construção de edifícios pode responder às pressões crescentes de complexidade, rapidez e sustentabilidade da construção, reduzindo o custo do edifício e da sua utilização posterior, a prática tradicional não consegue responder de forma

sustentável a esta pressão [4]. Segundo Sacks *et al.* (2010) o BIM terá um grande impacto na indústria da construção, e muitos dos problemas enfrentados pelo setor serão resolvidos com a ajuda do BIM, destacando-se entre outros [12]:

- BIM permite gerar desenhos de qualquer conjunto de objetos a qualquer momento no projeto, reduzindo assim o tempo perdido em desenhos feitos à mão;
- Permite realizar estimativas de custo e quantidades de forma automatizada, com rapidez e facilidade;
- O modelo permite detetar colisões e conflitos antes de iniciar a fase de construção;
- Todas as mudanças realizadas no modelo são automaticamente atualizadas em todos os desenhos;
- Facilita a implementação dos princípios *Lean*, pois estes exigem uma coordenação rigorosa, que é facilmente alcançável com recurso ao BIM;
- Serve de suporte à colaboração, coordenação e planeamento das atividades em obra.

Basicamente, o BIM é uma tecnologia e processo emergente na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) depois dos desenhos em papel e do desenho CAD [11]. Tal como os sistemas CAD se desenvolveram do 2D para o 3D, 4D e até 5D, incluindo não só a geometria em três dimensões, mas também o tempo (4D) e os custos (5D), o BIM inclui todas estas dimensões e ainda informações mais específicas sobre os vários elementos e sistemas associados a um edifício [13]. A grande diferença de utilização de uma metodologia BIM para o processo atual, é que mesmo com o CAD 2D a troca de informação entre os vários intervenientes num projeto de construção é realizada a maior parte das vezes recorrendo a impressões de vários conjuntos de desenhos, enquanto que com CAD 3D e, especialmente com o BIM, esta troca é feita através de modelos virtuais (Figura 1). Desta forma, enquanto a evolução da impressão dos vários conjuntos de desenhos é separada no tempo, a utilização de modelos virtuais exige um trabalho colaborativo e portanto, muda a prática há muito estabelecida, em que os diferentes participantes no projeto entram em fases temporais diferentes [14]. O BIM permite assim a utilização, a reutilização e a troca de informação a partir de uma tecnologia de modelação 3D-2D integrada, onde todos os documentos eletrónicos se inserem num modelo único 3D [4].

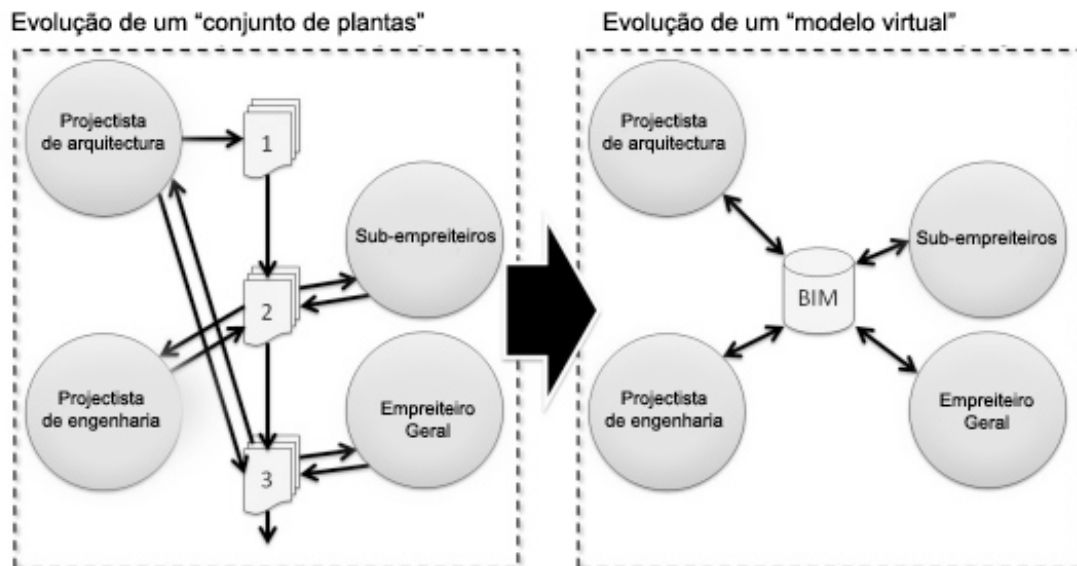


Figura 1. Processo de troca de informação na fase de obra (adaptado de Taylor, (2007))

Após vários anos a ignorar o desenvolvimento de métodos de modelação digital, poderá agora ter

lugar na indústria da construção uma nova etapa na evolução dos processos construtivos. A definição adotada para o termo BIM neste estudo é a emitida pela *General Service Administration* (GSA) nos EUA. A GSA (2007) define “*Building Information Modeling é o desenvolvimento e utilização de software específico de modelação de dados não apenas para documentar um projeto de um edifício, mas para simular a construção e operação de uma nova instalação, ou modernizar uma existente. O modelo BIM resultante é uma representação paramétrica digital da instalação, da qual se podem extrair e analisar vistas apropriadas para vários utilizadores de forma a melhorar a conceção da instalação*” [15].

Neste estudo quando BIM é mencionado, refere-se à atividade *Building Information Modeling*, para referir um *Building Information model* o termo modelo BIM é utilizado.

3. METODOLOGIA

Procuraram-se empresas responsáveis pela exploração de infraestruturas públicas de grande utilização que tivessem interesse e disponibilidade para uma implementação BIM em obras de reabilitação, para controlo das mesmas. Através de um esforço conjunto entre a Universidade Nova de Lisboa e a empresa escolhida resultou o caso de estudo aqui presente. O trabalho foi desenvolvido do seguinte modo:

- Definição e caracterização do caso de estudo;
- Elaboração do modelo BIM do caso de estudo;
- Análise do modelo BIM;
- Análise VSM: Estado presente – realizado um mapeamento e análise em obra das atividades e do modo como foram realizadas, dos desperdícios existentes e condicionadores de um fluxo contínuo de valor;
- Análise VSM: Estado futuro – desenho e mapeamento dos processos com base em medidas de otimização do processo de criação de valor suportadas por uma implementação BIM;
- Análise dos resultados.

Este estudo completo pode ser consultado no repositório institucional da Universidade Nova de Lisboa (www.run.unl.pt) com o título “Sinergias BIM-*Lean* na redução dos tempos de interrupção de exploração em obras de manutenção de infraestruturas de elevada utilização – um caso de estudo”. Neste artigo será dado especial foco ao modelo de implementação de BIM na fase de construção e quais as suas vantagens.

4. ABORDAGEM PROPOSTA

4.1. Descrição do caso de estudo



Figura 2. Imagem 3D infraestrutura (arquitetura e estrutura)

Os sistemas MEP são projetos tecnicamente desafiantes e por vezes extremamente complexos. A coordenação e encaminhamento destes sistemas possuem um carácter especial que exige maiores esforços por parte das equipas coordenadoras. Os sistemas MEP desenvolvem-se num espaço limitado e invisível e obedecem a critérios rigorosos de conceção, construção e manutenção.

A gare ferroviária em questão tem, um tráfego de utentes de cerca de 25 000 utilizadores por dia útil, e o valor da obra foi aproximadamente 100 mil euros. As obras decorreram com a gare a funcionar normalmente, em horário diurno. O cerne do projeto inclui a substituição da rede de cablagem que permita a montagem de um sistema de controlo de acessos, permitindo o fecho de estação com um novo sistema de barreiras.

A gare ferroviária é constituída por uma estrutura em betão armado que serve de sustentação à plataforma ferroviária, constituída por duas lajes a diferentes cotas. Os caminhos de cabos encontram-se por cima dos tetos-falsos e constituem uma enorme malha de cabos. Os tetos-falsos presentes encontram-se às cotas de 3,5 m e 2,5 m não sendo fácil aceder-lhes. Na zona dos escritórios são constituídos por chapas metálicas que atingem em alguns casos os 4 metros de comprimento por 40 cm de largura. Na zona do átrio principal são constituídos por placas de gesso cartonado e por uma grelha metálica perfurada.

4.2. Workflow BIM

Com recurso ao Autodesk® Revit® Architecture e MEP modelou-se 80% da gare ferroviária. A zona da sede, localizada a Norte, não foi modelada, já que não iria sofrer nenhuma intervenção, não sendo por isso relevante para o caso de estudo. A ausência de desenhos em formato digital obrigou a modelação a ser feita do zero, com recurso apenas a desenhos em papel. Começou em primeiro lugar por modelar-se a estrutura principal da gare ferroviária, servindo assim este modelo de base de coordenação para todos os outros criados ao longo do projeto. De seguida modelou-se a arquitetura (paredes, tetos-falsos, janelas, etc.). Nesta fase foram realizadas diversas visitas ao local para esclarecimentos pontuais através de observação direta e levantamento de medições. Por fim, para a modelação das infraestruturas MEP, foi agendada uma reunião com o coordenador e responsável pelos trabalhos a realizar, para se aferir quais as especialidades que poderiam entrar em conflito com o projeto em análise, e qual o espaço que iria estar sujeito à intervenção. As conclusões desta reunião levaram a que fosse necessário modelar todos os caminhos de cabos existentes, toda a rede de energia principal, a rede de iluminação, a rede de incêndio, de AVAC, a rede de dados e telecomunicações. Toda esta cablagem se encontrava tanto por cima dos tetos falsos, em caminhos de cabos, como em condutas no pavimento e em determinadas passagens fixa à estrutura. A metodologia seguida para criar o modelo BIM 3D está representada na Figura 3.

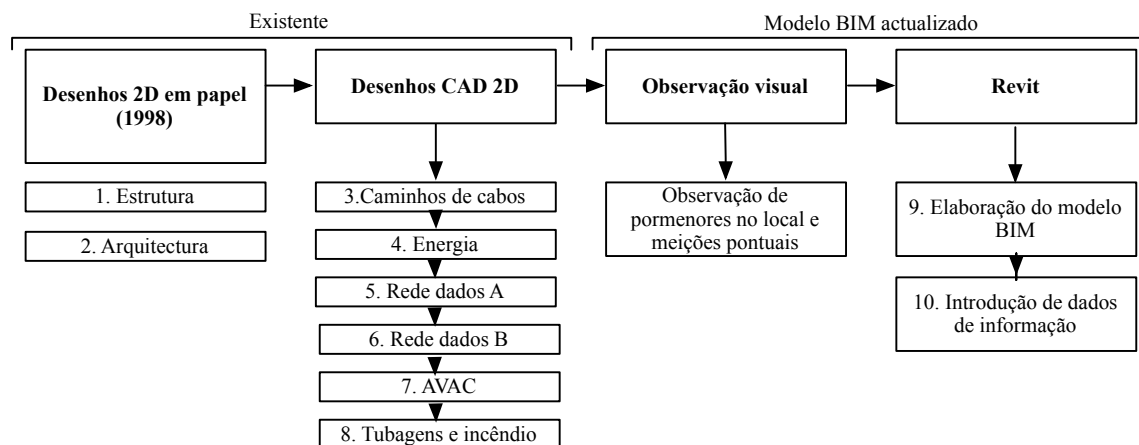


Figura 3. Metodologia seguida para criar o modelo BIM

Para a elaboração de um modelo deste género e aproveitamento máximo do seu potencial, torna-se necessário garantir uma partilha de informação entre todos os envolvidos. Deve também partir

do dono de obra a solicitação do desenvolvimento de um modelo BIM na adjudicação da obra. A equipa contratada poderá converter os desenhos 2D num modelo BIM 3D ou, no caso de não ter capacidade para o fazer, deve procurar esse serviço num consultor externo. O modelo é depois gerido pelo consultor ou pela empresa contratada e utilizado por todas as partes envolvidas em trabalhos de exploração/ manutenção na infraestrutura. Este modelo passa a ser a base para toda a atividade de construção e permite uma precisão muito maior do que desenhos 2D.

A Figura 4 demonstra o modelo utilizado para a elaboração do modelo BIM desta infraestrutura, e para utilização nos trabalhos de manutenção/ exploração/ operação da mesma. Depois de elaborado o modelo BIM, foi utilizado para o planeamento, coordenação e colaboração em obra como descrito no próximo capítulo. Neste caso o autor funcionou como um consultor externo responsável pela atualização e gestão diária do modelo.

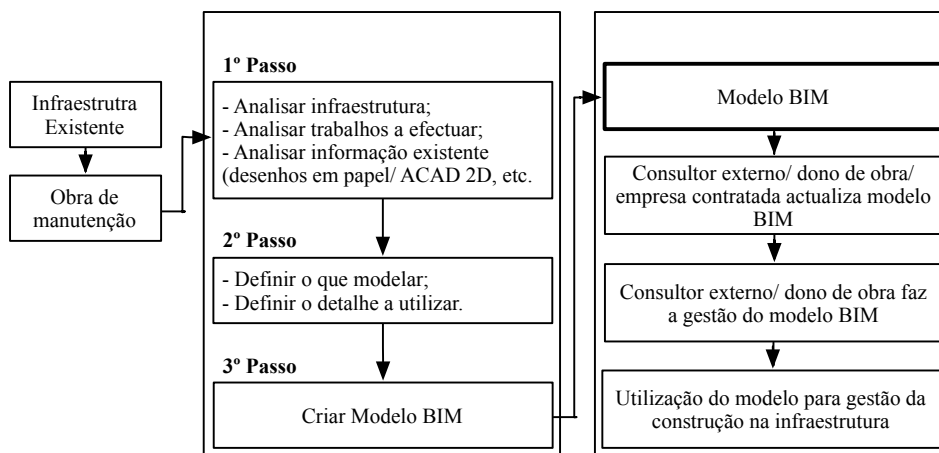


Figura 4. Esquema proposto de utilização do modelo BIM em obra

Neste projeto procurou garantir-se que toda as equipas envolvidas tivessem acesso à última informação atualizada, todos os dias, no local. Estava assim garantido que todos tinham a mesma informação, atualizada e completa sempre que necessário. Isto conseguiu-se pela realização de uma reunião diária onde as equipas davam *feedback* dos trabalhos do dia anterior para atualizar o modelo, e verificavam no modelo as áreas a intervencionar durante esse dia. Durante as reuniões de coordenação, e depois de analisados os trabalhos para esse dia e distribuídos os documentos de suporte aos mesmos, ambas as equipas ficavam com uma visão global do que será executado nesse dia, adquirindo assim uma antevisão do que irá ser feito.

Uma das grandes utilizações do modelo foi no planeamento e preparação dos trabalhos para a identificação e substituição das redes de cablagem. As equipas ficaram impressionadas com a precisão do modelo e extremamente agradas com o fato de saberem a localização exata dos tetos-falsos a abrir. Podendo assim, prever de forma mais rigorosa a duração das atividades e a melhor sequência de tarefas a empregar. Além disso o modelo possibilitou ao dono de obra, mais facilmente, analisar e otimizar a posição de todas as infraestruturas a serem intervencionadas neste trabalho e os novos traçados a efetuar.

4.2.1. BIM como base para a realidade aumentada

Durante as reuniões existiu uma grande vantagem da utilização de BIM que se repete constantemente: a visualização. Todos os envolvidos no processo referiram que o fato de se poder visualizar o que vai ser feito, de várias perspetivas é uma grande ajuda. No terreno o modelo foi utilizado como suporte de comunicação com os trabalhadores, utilizando-se este para retirar imagens 3D e realizar visitas virtuais à infraestrutura de forma a clarificar algumas partes

mais complexas da infraestrutura. Estas imagens 3D em conjunto com as plantas ajudavam os trabalhadores a perceber o que tinham de fazer. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: “O modelo foi como um mapa 3D do que não estava à vista, durante o decorrer dos trabalhos”.



Figura 5. Imagem 3D modelo, imagem fotorrealista do modelo e planta do modelo

Uma boa preparação dos trabalhos conduz a uma diminuição dos riscos associados às atividades, aumenta a qualidade das soluções e otimiza o processo de construção, permitindo cumprir prazos mais curtos e minimizar custos derivados de atividades mal executadas. Mas para se identificar riscos associados às atividades é necessário um bom conhecimento do que vai ser feito, é aqui que entra o modelo BIM, a possibilidade de visualizar e controlar o processo num ambiente 3D ajudou a identificar os riscos na fase de construção, como foi o caso de colisões com elementos estruturais, as áreas de forte afluência de passageiros, os locais de acesso condicionado e os locais de difícil acesso.

O modelo foi basicamente uma ferramenta utilizada para coordenação dentro da equipa, e entre a equipa e o dono de obra. Sem plantas digitais das infraestruturas e com prazos de execução curtos, foi de extrema importância ter um modelo 3D que permitisse obter uma visão preliminar do que se iria fazer. A título de exemplo: identificar de forma rápida e direta as redes a substituir, os tetos-falsos a abrir, as possíveis colisões, o local exato onde as equipas tinham de passar a nova cablagem, ou as portas que iriam ter um novo sistema de controlo de acessos. Olhando para o modelo as equipas conseguiam perceber como era suposto efetuar os trabalhos e assim idealizar logo algumas soluções para solucionar certos problemas, acabando assim por otimizar todo o processo de trabalho.

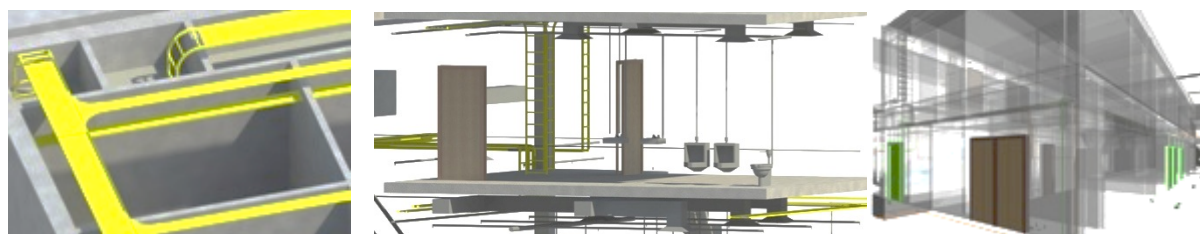


Figura 6. Imagens do modelo com estrutura invisível e transparente

Como suporte ao planeamento o modelo pode ser utilizado como uma ferramenta de visualização do estado da obra. Usualmente os trabalhadores das equipas limitam-se a fazer o seu trabalho, não se envolvem nem nos desenhos 2D nem sequer no planeamento definido. No entanto quando se mostra o modelo no ecrã ou se disponibilizam imagens 3D impressas do modelo, os trabalhadores obtêm uma visão clara do trabalho que têm de fazer, como são determinadas zonas, as partes a instalar mais tarde e os problemas relacionados com a instalação, como era o caso dos conflitos existentes, ou as áreas de acesso restrito. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: “O modelo permitiu poupar tempo na obra, porque evitou erros e redundâncias nos trabalhos. Nós sabíamos

exatamente os problemas com que nos iríamos confrontar, podendo assim evitar e agilizar alguns deles. Permite realmente poupar tempo”.

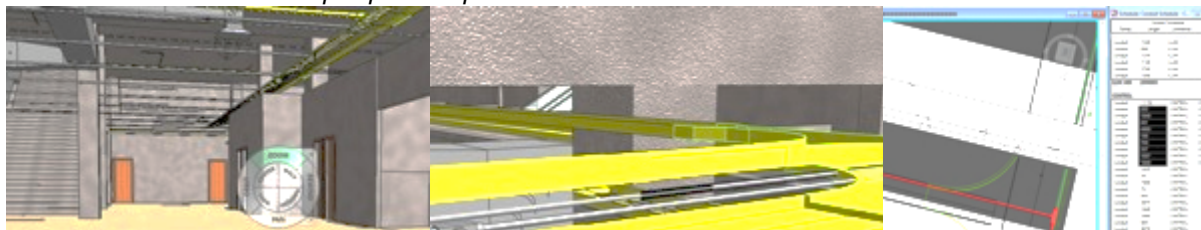


Figura 7. Simulação em ambiente virtual da infraestrutura, análise e controlo de caminho de cabos

Em termos de logística, e de acordo com o dono de obra o modelo é uma grande ajuda na tomada de decisões e na visualização de alterações ao projeto. Ao contrário dos desenhos CAD 2D o modelo contém toda a informação “sobrepota”, o que permite analisar o impacto que uma atividade terá noutra, identificar o melhor local para colocar determinado equipamento, a melhor forma de aceder a determinado espaço, ou seja, foi possível analisar a globalidade do modelo de forma a otimizar todas as soluções da melhor forma possível. Este foi um dos fatores que mais contribuiu para a eficiência do processo, nesta obra as infraestruturas a intervir não eram visíveis e encontravam-se numa área de difícil acesso.

4.2.2. Implementação BIM em obra

O modelo aplicado para avaliar os benefícios que uma implementação BIM pode originar em obras de manutenção em infraestruturas de elevada utilização, teve por base o VSM. Em primeiro lugar escolheu-se o processo que se pretendia melhorar, sendo neste caso o conjunto de atividades realizadas por cada uma das equipas desde o início dos trabalhos à sua finalização. A observação de todas as atividades foi realizada, procurando sempre encontrar de que forma um modelo BIM poderia otimizar o processo. Os trabalhos das duas equipas contemplavam a substituição de redes de cablagem da infraestrutura e eram compostos pelas seguintes atividades:

- Enquadramento das equipas;
- Transporte de material;
- Identificação de caminhos de cabos;
- Passagem de cablagem;
- Montagem e ligação dos novos sistemas.

As atividades que apresentavam maior desperdício e condicionalismos ao correto fluxo dos processos eram: “Identificação de caminhos de cabos” e a “passagem de cablagem”. Tendo sido implementada uma metodologia BIM em obra para otimizar estas atividades.

4.2.2.1. Identificação de caminhos de cabos

Esta foi uma das atividades mais condicionantes de todo o processo, onde se encontrou maiores desperdícios e interrupções do fluxo de trabalho, devido à má preparação dos trabalhos. No átrio principal o pé direito é de 3,5 m, os tetos-falsos são em placas de gesso cartonado e existem três áreas em grelha metálica quadriculada, sendo estas as únicas zonas onde é possível aceder à área técnica onde passam todas as infraestruturas. Esta área entre os tetos-falsos e a estrutura da plataforma ferroviária tem inúmeras características que dificultam os trabalhos, nomeadamente: ausência de iluminação, contempla a passagem da rede elétrica da estação, as tubagens de abastecimento de água, a rede de incêndio, de telecomunicações, a infraestrutura de AVAC e ainda a estrutura de suporte do próprio teto-falso. É uma zona de difícil acesso e

circulação. No átrio principal existia uma ideia de onde se encontravam os caminhos de cabos. A primeira dificuldade esteve em identificar qual o melhor trajeto para ligar os novos sistemas; a segunda dificuldade foi identificar onde se poderia ir buscar energia e quais os compartimentos mais próximos que continham as áreas técnicas de ligações de dados; a terceira identificar os caminhos de cabos existentes; a quarta garantir o acesso a áreas reservadas. Devido a estas condicionantes e sem qualquer tipo de plantas da estação, as equipas tinham inúmeras interrupções de fluxo de trabalho, chegando por vezes a atingir tempos de espera de uma hora, e raramente eram analisadas todas as soluções possíveis, optando-se por aquela que dava menos trabalho. Quando se verificava que não era possível passar o cabo por aquele local, era necessário retirar o cabo passado e voltar à atividade anterior de procurar outra solução possível, ou seja a equipa retornava ao processo de suposição se existia uma outra alternativa.

Nas zonas de escritórios os tetos-falsos eram constituídos por chapas metálicas com 4,0 x 0,40 m com um encaixe difícil de utilizar. Tanto nos corredores como nas várias salas, existiam inúmeras chapas e as equipas não tinham informação quanto à localização dos caminhos de cabos, conduzindo à tarefa árdua de abrir e fechar tetos-falsos desnecessariamente até se encontrar o local onde passavam os cabos. Todas estas tentativas de encontrar os caminhos de cabos eram atividades sem valor acrescentado, contribuindo apenas para uma exaustão dos trabalhadores, conduzindo a uma diminuição da qualidade do trabalho, trabalho repetido desnecessário e tempo inutilizado.

Através do modelo BIM existia um suporte visual 3D detalhado da gare, oferecendo uma capacidade de visualização detalhada de todas as infraestruturas da gare. Isto permitiu identificar a localização exata de todos os caminhos de cabos possibilitando às equipas saberem exatamente os tetos-falsos a abrir. Através da capacidade de gerar automaticamente plantas, cortes e imagens 3D de qualquer espaço, o modelo permitiu dotar as equipas com ferramentas e toda a informação necessária relativa ao local de intervenção, dotando-as de um conhecimento profundo das características do local. Consegue-se assim garantir fluxos de trabalhos contínuos, aumentar a eficiência do processo e fazer bem à primeira e com mais qualidade, reduzindo a variabilidade das atividades e eliminando desperdício. Através das reuniões diárias para a atualização/ análise do modelo, e definição do plano de trabalhos, conduziu a uma transparência no processo para todos os envolvidos, garantindo uma colaboração e coordenação entre as equipas.

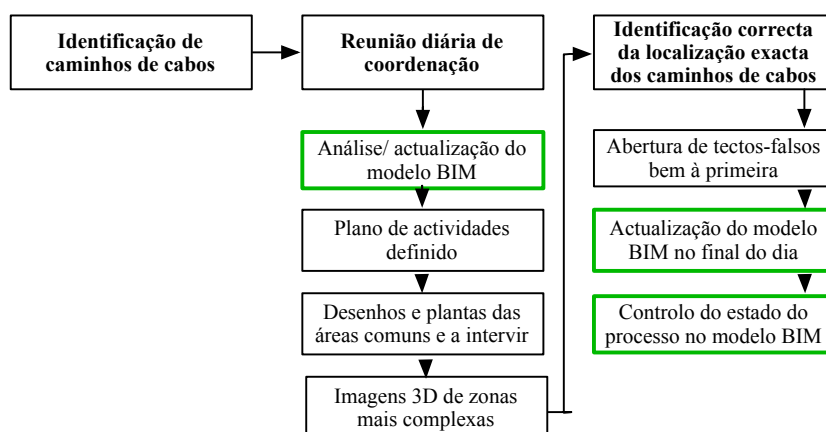


Figura 8. Metodologia de implementação BIM em obra

4.2.2.2. Passagem de cablagem

Decorrente da falta de preparação dos trabalhos, da não existência de um planeamento geral das atividades e da pouca importância dada às pequenas atividades as equipas estavam “perdidas”

no terreno. A falta de apoio e suporte de informação no local da obra, conduziu a inúmeras atividades sem valor acrescentado, e muitas outras de trabalhos repetidos, a falta de controlo e coordenação conduziu a situações problemáticas repetidas para as duas equipas, como foi o caso, do acesso a áreas restritas e a abertura e fecho dos mesmos tetos-falsos em determinadas zonas. Quanto a condicionalismos decorrentes da fraca análise dos trabalhos a realizar, há a referir: em primeiro lugar a restrição não prevista que decorreu do volume de afluência de passageiros na gare durante as horas de ponta, colocando em risco os trabalhadores que se encontravam a trabalhar no átrio principal a 3,5 metros de altura, como os passageiros que circulavam por de baixo dos tetos-falsos que estavam a ser intervencionados; em segundo lugar, os caminhos de cabos estavam lotados de cabos, levando a que numa zona central do átrio já não houvesse espaço entre a viga e os caminhos de cabos, acabando o cabo por bloquear naquele obstáculo, sendo depois necessário encontrar o acesso à área técnica mais próximo desta zona para arranjar espaço para a sua passagem, tendo que se recorrer à deslocação de “gatas” por cima dos tetos-falsos; outro problema que se verificou diversas vezes, tal como na atividade anterior, foi o acesso a áreas restritas não estar coordenado entre equipas, nem entre estas e a pessoa responsável pelo acesso a essas áreas, causando inúmeros tempos de espera. Nas zonas dos escritórios a passagem da cablagem adquiria uma nova dimensão, que era arranjar espaço para passar mais cabo nas aberturas feitas em paredes entre compartimentos, e muitas vezes encontrar essas próprias aberturas. Refira-se a falta de qualidade de trabalhos anteriores já realizados, existindo cabos totalmente torcidos, cabos entalados por aparelhos, cabos danificados devido à sobreutilização dos caminhos de cabos, etc. Tendo todas estas condicionantes causado inúmeras vezes trabalhos repetidos, ocorreram imensas atividades sem valor acrescentado, entre elas: andar à procura do suposto local onde o cabo tinha bloqueado; passagem diferenciada de cabos, quando poderiam ter sido logo passados em conjunto; escolha de traçados longos, quando existiam traçados mais curtos; cabos passados por fora dos caminhos de cabos e muitas vezes à solta nos tetos-falsos, colocando em risco o seu correto funcionamento. A ausência de coordenação, colaboração e comunicação entre as duas equipas levou a situações repetidas de colisões com objetos existentes, que poderia ter sido evitada se uma equipa tivesse alertado a outra daquele problema.

Através da capacidade de visualização melhorada da infraestrutura, possível pelo modelo BIM, foi possível analisar diariamente as soluções propostas para a passagem da cablagem e analisar virtualmente o traçado escolhido, com foco sempre na escolha da melhor solução. Assim sendo as equipas intervenientes conseguiam facilmente traçar um plano de “ataque” diário, e alcançar os seus objetivos diários, analisar situações pontuais que ocorressem e encontrar alternativas rápidas para as solucionar, e identificar as zonas exatas de interesse para o projeto, sem ser necessário perguntar ou procurar por elas. Reduzindo assim a necessidade de intervenção de quadros superiores e minimizando os tempos de espera nestas situações. Através da atualização do modelo e troca de informação entre as duas equipas conseguiu-se prever alternativas às situações mais difíceis do traçado, reduzindo a variabilidade e as atividades sem valor acrescentado. A interação e controlo do trabalho recorrendo ao suporte visual do modelo BIM, aumentou a colaboração entre todos, conduzindo a que as diferentes equipas participassem de forma mais eficaz no processo, incentivando assim a uma melhoria na qualidade dos trabalhos. Como já referido na atividade anterior, através das reuniões diárias para a atualização/ análise do modelo, e definição do plano de trabalhos, conduziu a uma transparência no processo para todos os envolvidos, garantindo assim que as equipas colaboravam nas suas atividades.

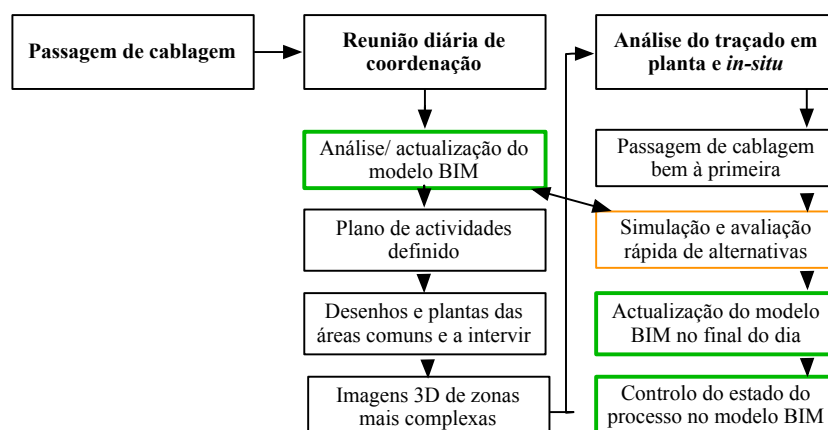


Figura 9. Metodologia de implementação BIM em obra

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Problemas da utilização de BIM

Utilização e interface do software: As empresas intervenientes no projeto não possuíam o *software* utilizado na elaboração do modelo BIM, logo não tinham forma de o manipular por elas próprias. Apesar de existir *software* gratuito que permite a visualização e manipulação de modelos BIM, como é o caso do *Naviswork® Freedom Viewer*, este não foi utilizado. Como tal, sempre que era necessário visualizar, alterar ou atualizar o modelo BIM, tinha de recorrer-se ao computador do primeiro autor. Sempre que surgiam dúvidas ou alterações e este não estava presente, estas só eram atualizadas no dia seguinte, perdendo-se tempo na tentativa de as resolver em obra. Quanto ao *know how* para utilização do *software*, é outra das grandes dificuldades de implementação.

O BIM consome tempo: O tempo empregue na modelação da infraestrutura foi aproximadamente 300 horas (2,5 meses), é importante notar que o detalhe utilizado foi médio. Foram dedicadas cerca de 5 horas/homem diárias durante esses dois meses e meio, só à modelação. É uma tarefa árdua e que consome bastante tempo. Manter o modelo atualizado é a tarefa mais importante. É fundamental que a equipa atualize a sua parte correspondente do modelo ou introduza as alterações efetuadas, para o modelo central ser atualizado e os restantes participantes serem notificados dessas mesmas alterações. Só assim pode garantir-se a conformidade e sustentabilidade do modelo. Esta era uma tarefa realizada diariamente e que consumiu bastante tempo. Considerando a dimensão do caso de estudo, e o número de equipas envolvidas, esta atualização diária do modelo consumia entre trinta minutos a duas horas, dependendo do caso.

Custos iniciais: Um dos responsáveis pela intervenção referiu numa reunião: “O *software* disponível no mercado para gerar modelos BIM têm custos muito elevados, será ainda necessário melhorar o *hardware* de muitas máquinas para correr o programa. É ainda preciso apostar na formação do pessoal, e todos estes custos são uma barreira à implementação desta tecnologia. Temos de avaliar sempre em função da dimensão e complexidade dos projetos, assim como dos orçamentos disponíveis.”

5.2. Benefícios da utilização de BIM

Coordenação, colaboração e planeamento: Um dos responsáveis pela intervenção referiu o seguinte, em relação à coordenação e planeamento: “Muitos esforços de coordenação serão resolvidos na cabeça das pessoas antes de chegarem ao local de trabalho...não há dúvida que

isso irá poupar tempo. No caso desta obra permitiu-nos coordenar os trabalhos com a outra equipa, evitando assim a abertura de alguns tetos-falsos comuns”.

Visualização: Um dos trabalhadores das equipas referiu o seguinte: *“Existem muitos trabalhadores que conseguem olhar para plantas 2D e ver o edifício na cabeça, eu não consigo, e a visualização é uma grande ajuda durante o trabalho, especialmente quando estamos a lidar com infraestruturas ocultas pela estrutura”.*

Comunicação: No que toca a comunicação, o modelo é uma grande ajuda, permitindo realizar “visitas” por dentro da estrutura e simular várias alternativas e compreender os seus efeitos, possibilitando a escolha da melhor solução. Facilita a comunicação de objetivos, problemas e alterações de projeto e na construção. Um dos intervenientes neste processo descreveu as vantagens e propósito do modelo da seguinte forma: *“Existem sempre zonas que levantam algumas dúvidas técnicas, neste caso acontecia especialmente com locais onde não encontrávamos espaço para passar mais cablagem, recorrendo ao modelo tornava-se fácil explicar ao responsável pela obra o local exato do problema e gerar uma alternativa”.*

Segurança: O BIM permitiu definir visualmente todos os espaços a intervir, possibilitando à segurança conhecer os mesmos previamente e controlá-los de forma mais apertada. Uma infraestrutura de elevada utilização apresenta sempre questões de segurança sensíveis, tem um elevado tráfego de utentes e pode ser alvo de tentativas de alteração da ordem pública.

5.3. Discussão de resultados

O caso de estudo permitiu verificar que a existência de um modelo BIM da gare ferroviária, acrescentou uma dimensão visual ao projeto, que era inexistente até aí. Aliando esta capacidade de visualização a toda a informação e formas de exportação da mesma associadas ao modelo e software BIM, foi possível dominar por completo os trabalhos e a infraestrutura em estudo, tornando fácil a tarefa de gestão da mesma. O BIM vem permitir uma simulação dos trabalhos a efetuar num ambiente virtual, otimizando posteriormente o *workflow* em obra, ampliando também o detalhe do projeto. Recorrendo ao modelo BIM obtiveram-se os seguintes resultados:

- Uma diminuição das atividades sem valor acrescentado na ordem dos 30%;
- Uma redução na duração global das duas atividades mais condicionantes na ordem dos 50%;
- Um eficiência significativa no fluxo de trabalho das equipas;
- Um aumento significativo da qualidade e empenho nos trabalhos pelos trabalhadores;
- Houve um acréscimo de cerca de 5 horas gastos com a análise do modelo BIM para cada uma das equipas, que corresponde às reuniões de coordenação na fase de construção e à análise visual dos trabalhos na fase de enquadramento das equipas.

6. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que é possível diminuir os desperdícios existentes e aumentar a eficiência de alguns processos através da aplicação de tecnologia BIM em obra. Através do modelo BIM do caso de estudo foi possível gerar um suporte visual 3D do local de intervenção e do *workflow* tornando assim possível identificar as várias restrições existentes no local, detetar possíveis colisões e conflitos durante a obra, e simular/ gerir em ambiente virtual os processos de trabalho. Recorrendo ao modelo BIM foi possível planear entre os vários participantes a melhor sequência dos trabalhos a realizar, reduzindo para cerca de metade a duração das atividades. É interessante mencionar que no caso de estudo em questão, depois da presença de um modelo BIM em obra, todas as equipas passaram a consultar o modelo antes de qualquer intervenção em obra, passando a existir a preocupação de fornecer dados para a atualização do mesmo. Este acabou por se tornar essencial em obra, como uma fonte lógica/ centralizada de informações.

AGRADECIMENTOS

O segundo autor reconhece e agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento atribuído através da Bolsa de Licença Sabática SFRH/BSAB/1234/2012, que suportou parcialmente a elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] J. P. Couto e J. M. Teixeira, As Consequências do Incumprimento dos Prazos para a Competitividade da Indústria de Construção - Razões para os Atrasos, Universidade do Minho (2006).
- [2] AECOPS, Construção: uma visão do futuro - crescimento, estagnação ou recessão?, Portugal (2006).
- [3] Tribunal de Contas, Auditoria a empreendimentos de obras públicas por gestão direta: conclusões e recomendações do Tribunal de Contas, Lisboa (2009).
- [4] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, *"BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors"*, New Jersey, John Wiley & Sons eds, Inc., Vol. 1, New Jersey (2011).
- [5] R. Sacks, B. Dave, L. Koskela, R. Owen, *Analysis Framework For The Interaction Between Lean Construction and Building Information Modeling*, 'Proceedings 17th Annual International Group for Lean Construction Conference', Conference details: 17th Annual International Group for Lean Construction Conference, Taiwan (2009).
- [6] Z. Yang e G. Wang, *"Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry"*, Management and Service Science, International Conference, Março (2010).
- [7] J. Egan *"The Report of Construction Task Force"*, Department of Trade and Industry, UK (1998).
- [8] C. Eastman, D. Fisher, L. Gilles, J. Lividini, D. Stoker, C. Yessios, *"An Outline of the Building Description System"*, Carnegie-Mellon University, Institute of Physical Planning, Pittsburgh, p. 22. (1974).
- [9] R. Sacks, R. Barak, M. Radosavljevic, *"Requirements for Building Information modeling based lean production management systems for construction"*, Automation in Construction, 24 Fevereiro (2010).
- [10] R. Sacks, I. Kaner, C. Eastman, Y. Jeong, *"The Rosewood experiment - Building Information modeling and interoperability for architectural precast facades"*, Automation in Construction, (2010).
- [11] R. Sacks, L. Koskela, B. Dave, R. L. Owen, *"The Interaction of Lean Construction and Building Information Modeling in Construction"*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136, p. 968–980, (2010).
- [12] B. Succar *"Building Information Modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders"*, Automation in Construction, Maio (2009).
- [13] W. E. Kraus, S. Watt, P.D. Larson, *"Challenges in estimating cost using building information modeling"*, AACE International Transactions, Vol. 1, p. 1-3, (2007).
- [14] General Services Administration, *"BIM Guide Series 01 - BIM Guide Overview"*, The National 3D-4D-BIM Program, (2007).
- [15] J. E. Taylor, *"Antecedents of successful three-dimensional computer-aided design implementation in design and construction networks"*, Journal of Construction Engineering and Management, n. 133, p. 993-1002, (2007).